

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Katedra měřicí a řídicí techniky

Krokoměr – detekce počtu kroků

Pedometer – Detection of the Step

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

.....
Olga Baďurová

Datum odevzdání bakalářské práce: 6. 5. 2011

Poděkování

Děkuji Ing. Ondřeji Adamcovi za pomoc při vedení bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vytvořením softwaru pro detekci počtu kroků z akcelerometrických dat. Je rozdělená do tří částí, kde první část je zaměřená na vysvětlení základních teoretických pojmů, druhá část se zabývá vlastním návrhem a realizací algoritmu zpracování signálu z měřicího zařízení a třetí část obsahuje laboratorní úlohu vytvořenou a zpracovanou podle standardů vysoké školy.

Pro realizaci práce byl použit program Matlab®, ve kterém byla zpracována akcelerometrická data a následně implementován algoritmus, který detekuje a počítá vykonané kroky, dále umožňuje určit předpokládanou délku trati, dobu pohybu, vydané množství energie, Body Mass Index, profil pohybu a mnoho dalších funkcí. Vytvořené uživatelské rozhraní GUI umožňuje snadnou manipulaci se softwarem v rámci laboratorních úloh vysoké školy. Pro snadnější pochopení práce se software byl vytvořen video tutoriál.

Při zpracování problematiky této bakalářské práce bylo čerpáno především z odborných knih a z internetových zdrojů (internetové encyklopedie, odborné články...).

Abstract

The work deals with the creation of software to detect the number of pedometer steps using accelerometric data. It is divided into three parts, where the first part focuses on explaining basic theoretical notions, the second part focuses on the custom design and implementation of processing algorithms to process signal of measurement device and the third part contains laboratory exercise created according to college standards.

To realize the work Matlab software, in which were processed accelerometer data, and then implemented an algorithm that detects and counts the steps performed, presumed length of the track, duration of movement, amount of energy used, Body Mass Index, motion profile and many other functions, was used. Developed GUI allows easy manipulation with the software in the college labs. To understand how to operate this software also the video tutorial was used.

During the processing of the issue of this work, information was drawn primarily from specialized books and Internet resources (online encyclopedia, articles...).

Klíčová slova

Krokoměr, akcelerometr, akcelerace, zrychlení, gravitace, těžiště, energie, index tělesné hmotnosti, profil pohybu, ZigBee, grafické uživatelské rozhraní

Key Words

Pedometer, accelerometer, acceleration, gravitation, centre of gravity, energy, Body Mass Index, motion profile, ZigBee, Graphical User Interface

Seznam použitých symbolů a zkratk

AAA	Označení typu baterie
BMI	(Body Mass Index) Index tělesné hmotnosti
GUI	(Graphical User Interface) Grafické uživatelské rozhraní
MEMS	(Micro-electro-mechanical systems) Mikro elektronicko mechanické systémy
MMA7455L	Označení typu akcelerometru
PC	(Personal Computer) Osobní počítač
PDA	(Personal Digital Assistant) Kapesní počítač
UML	(Unified Modeling Language) Grafický jazyk pro vizualizaci, specifikaci, konstrukci a dokumentaci komponent softwarových systémů
USB	(Universal Serial Bus) Univerzální sériová sběrnice
VZP	Všeobecná zdravotní pojišťovna

Seznam použitých cizích slov

Activity Diagram	– Diagram aktivit
Centripetal Komponent	– Normálová složka
Data Sheet	– Dokument popisující zařízení
Display	– Zařízení pro zobrazování informací
Extend	– Rozšířit
Guide	– Rozhraní v programu Matlab
Harddisk	– Pevný disk
Laptop	– Osobní počítač
Load	– Načíst
Pop-up Window	– Vyskakovací okno
Pre-condition	– Vstupní podmínka
Reset	– Vymazání, konec
Software	– Programové vybavení
Tangential Komponent	– Tečná složka
Video tutoriál	– Video návod k použití
ZigBee	– Bezdrátová komunikační technologie

OBSAH

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Vlastní rozpracování – teoretická část	2
3.1	Akcelerace	2
3.2	Akcelerometr	5
3.2.1	Obecně	5
3.2.2	Směr gravitačního zrychlení	5
3.2.3	Princip činnosti akcelerometru	6
3.2.4	Obecná stavba akcelerometru	6
3.2.5	Druhy senzorů	7
3.3	Analýza pohybu – mechanika pohybu člověka	10
3.3.1	Úvod do pohybu člověka	10
3.3.2	Gravitace a těžiště	11
4	Vlastní rozpracování – praktická část	11
4.1	Popis Hardware	11
4.2	Programová část	12
4.2.1	Vývojový diagram případů užití	12
4.2.2	Vývojový diagram aktivit	14
4.2.3	Grafické uživatelské rozhraní	16
4.2.4	Analýza akcelerometrických dat	16
4.2.5	Kalibrace	19
4.2.6	Vlastní detekce kroků	21
4.2.7	Množství vydané energie	23
4.2.8	Index tělesné hmotnosti	23
4.2.9	Předpokládaná délka trati	25
4.2.10	Určení průměrné délky kroku chůze a běhu	25
4.2.11	Doba trvání pohybu	26
4.2.12	Profil pohybu	27
4.2.13	Vykreslení vstupních dat	28
4.2.14	Video tutoriál	29
4.2.15	Funkční tlačítko reset	30
5	Laboratorní úloha	30
5.1	Výsledky	30
5.1.1	Úloha 1:	30
5.1.2	Úloha 3:	30
5.1.3	Úloha 4:	31
5.1.4	Úloha 5:	31
5.1.5	Úloha 6:	32
5.2	Kontrolní otázky	34
6	Testování	34
7	Závěr	35
8	Seznam použité literatury	37
9	Seznam příloh	39

1 Úvod

Činnosti akcelerometrů se ve velké míře využívá v mnoha zařízeních. Jedním z mnoha příkladů využití může být i hardware bezdrátového modulu použitý v této bakalářské práci, ve kterém je zabudován kapacitní akcelerometr. Vlastnosti použitého akcelerometru umožňují snadnou manipulaci. Testovaný model je také cenově dostupný, což je velice vhodné i pro vytvoření dalších kusů modulů pro laboratorní účely vysoké školy.

Bakalářská práce „Krokoměr – detekce počtu kroků“ se zabývá návrhem software pro krokoměr a to jak z hlediska teoretického, tak z hlediska praktického. K realizaci softwaru bakalářské práce byl použit program Matlab ve verzi 2007.

Práce je rozdělena do třech hlavních částí, kdy první část se zaměřuje vysvětlení základních principů a pojmů z oblasti akcelerace, akcelerometrů, směru gravitačního zrychlení a analýzy pohybu.

K řešení druhé části bakalářské práce, která tvoří stěžejní část celé bakalářské práce, je nejprve nutné zpracovat akcelerometrická data pomocí různých metod, to znamená načtená data odfiltrovat a zpracovat pro další použití. Na zpracovaná akcelerometrická data je poté implementován navržený algoritmus, který umožňuje detekovat a počítat kroky z běhu nebo chůze vyšetřované osoby. Aby je algoritmus správně detekoval, je nezbytné provést jeho částečně automatizovanou kalibraci pro konkrétní osobu. Software je následně sám schopen správně určit počet kroků vykonaných při chůzi nebo běhu. Pro pohodlnou manipulaci s funkcemi softwaru je vytvořeno GUI, kam uživatel zadává své hodnoty. V GUI je také zahrnuta funkce pro výpočet energie, indexu tělesné hmotnosti, přepokládané délky trati, doby pohybu, profilu pohybu. Pro lepší pochopení práce s celou problematikou jsou zahrnuty i vývojové diagramy a video tutoriál.

Třetí část práce zahrnuje vytvořenou a zpracovanou laboratorní úlohu, která obsahuje množství úloh a příkladů, které studenty seznámí a naučí pracovat s přístrojem a dokáží analyzovat akcelerometrická data a následně je pomocí uživatelského rozhraní softwaru zpracovat a vyhodnotit.

2 Cíl práce

Cílem práce je realizovat software pro detekci počtu kroků z akcelerometrických dat krokoměru. Dále vytvořit software pro výpočet energie vykonané daným subjektem, výpočet doby pohybu, předpokládané délky trati, indexu tělesné hmotnosti a v neposlední řadě pro vytvoření profilu pohybu. Z hotové bakalářské práce byla nakonec vytvořena laboratorní úloha dle šablon a standardů BME VŠB-TU Ostrava.

3 Vlastní rozpracování – teoretická část

3.1 Akcelerace

Protože se práce zabývá praktickým použitím akcelerometrů, tj. přístroji měřícími zrychlení, v první kapitole je krátce nastíněno, co je zrychlení a jak ho definujeme. Zrychlení definujeme jako časovou změnu rychlosti mechanického pohybu, v jednorozměrném zrychlení také jako derivaci rychlosti podle času¹, to znamená, jednoduše řečeno, jak se změní rychlost v čase. Jednotkou zrychlení je potom metr za sekundu na druhou, popřípadě stopa za sekundu na druhou atd. Zrychlení také můžeme měřit v g (tj. jednotka zrychlení rovnající se přitažlivosti Země u hladiny moře), kdy $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ nebo $32,2 \text{ ft/s}^2$.

Zrychlení můžeme vypočítat jako:

- 1) průměrné zrychlení, tj. zrychlení za určitý časový interval, podle vzorce

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

- 2) okamžité zrychlení, tj. zrychlení v daném časovém okamžiku, podle vzorce

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

Zrychlení v jedné dimenzi (směru) jednoduše udává, jak daný objekt zrychluje nebo zpomaluje,

¹ Zrychlení. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 5.1.2011 [cit. 15. 1. 2011]. Dostupné z WWW: <cs.wikipedia.org/wiki/Zrychlen%C3%AD>.

zrychlení ale kvůli své vektorové povaze udává jak změnu rychlosti, tak změnu směru pohybu.²

Zrychlení křivočarého pohybu si také můžeme rozložit do směru pohybu (tečná složka, anglicky tangential component, značíme a_t) a do směru kolmého k pohybu (normálová složka, anglicky centripetal component, značíme a_n).

Pro velikost zrychlení v klasické fyzice platí vztah:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \rightarrow \mathbf{a} = \mathbf{F}/m$$

Pro rozklad vektoru zrychlení platí vztah:

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n$$

A pro velikost zrychlení platí vztah:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

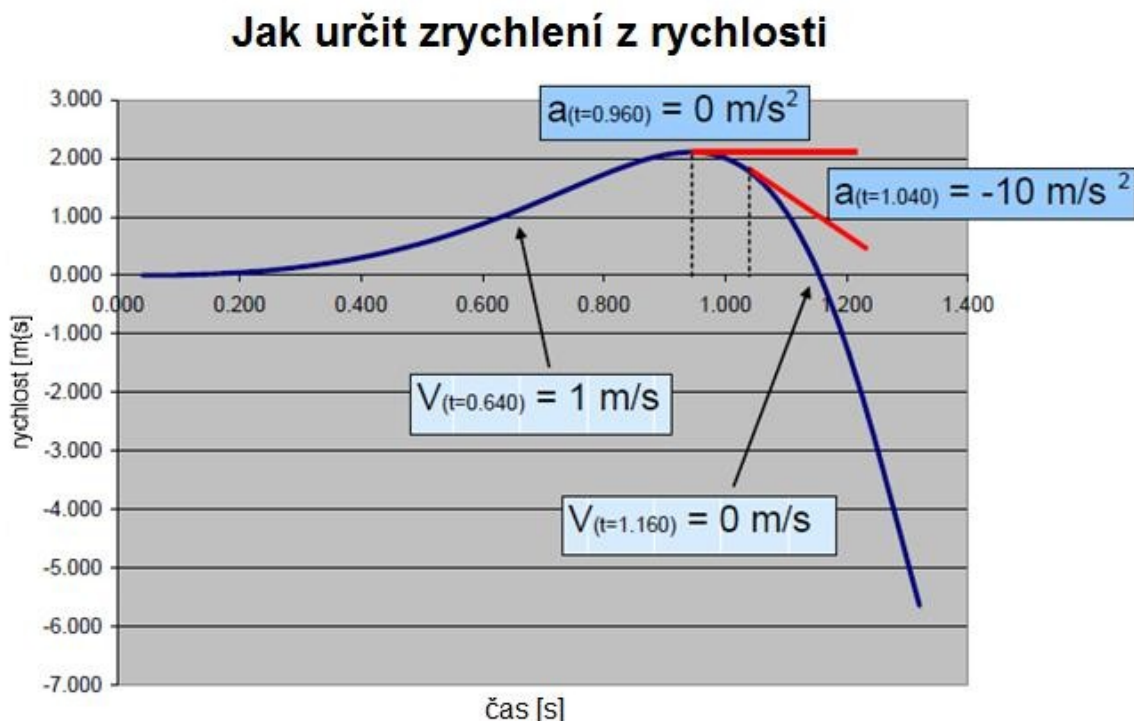
Pokud $a_t = 0$, jedná se o rovnoměrně přímočarý pohyb nebo pohyb po kružnici a normálovou složku představuje gravitační, respektive odstředivá síla. Pokud $a_n = 0$, jedná se o pohyb přímočarý nerovnoměrný, protože pohyb není vychylován z tečného směru přímky a platí že $a = a_t$.⁴

2 Acceleration. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 4.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Acceleration>>.

3 *Concise Encyclopedia of Science & Technology*. Fifth Edition. [s.l.] : McGraw-Hill Professional, 2004. 2651 s. ISBN 00-7142-957-3, ISBN 978-00-7142-957-3.

4 Zrychlení. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 5.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <cs.wikipedia.org/wiki/Zrychlen%C3%AD>.

Graficky potom vypadá vztah rychlosti a zrychlení takto⁵:



Obr. 1: Vztah rychlosti a zrychlení⁶

Pro lepší představu o velikosti zrychlení uvedu, že například zrychlení působící na pasažéra v autě je asi 2 g, zrychlení působící na závodníka indycar asi 3 g, zrychlení působící při startu raketoplánu asi 10 g a běžný člověk ztratí vědomí při 7 g.⁷ K extrémním zrychlením dochází při srážkách předmětů, při pádu notebooku z výšky 1 m na beton dochází ke zrychlení 100 - 2000 g, při vystřelení předmětu z kanónu to je až 10 000 g.⁸ Největší přetížení, které člověk přežil, bylo 179,8 g, při zpomalení ze 173 km/h na nulu na 66 centimetrech (přímý náraz do zdi), které ovšem trvalo jen zlomek vteřiny.⁹

5 Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.

6 Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.

7 Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.

8 HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.

9 David Purley. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 26.12.2010 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/David_Purley>.

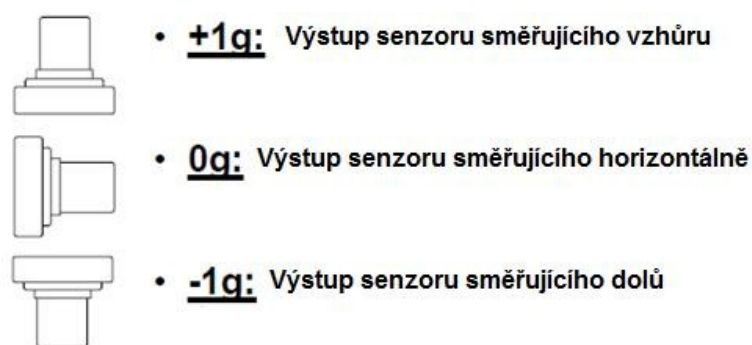
3.2 Akcelerometr

3.2.1 Obecně

Akcelerometr je zařízení, které využívá setrvačnosti hmoty a měří rozdíl mezi kinematickým zrychlením vzhledem k inerciálnímu prostoru a gravitačním zrychlením.¹⁰ Akcelerometrů se vyrábí mnoho typů a liší se například použitou technologií senzoru nebo vzájemným umístěním senzorů. Rozměry akcelerometrů mohou být v dnešní době opravdu malé, například MEMS akcelerometry (mikro elektricko-mechanické systémy). Akcelerometry můžeme také dělit na jednoosé a více osé akcelerometry (složené z více jednoosých). Víceosé akcelerometry jsou schopny změřit jak velikost zrychlení, tak i jeho směr, polohu, vibrace, smyk, náraz nebo pád objektu.¹¹

3.2.2 Směr gravitačního zrychlení

Pro snadnější rozpoznání směru akcelerace, zejména té směrem nahoru a dolů (typicky gravitační pole země), se vžila tato úmluva:



Obr. 2: Standard v měření směru zrychlení¹²

Pokud bude senzor orientován vzhůru, jeho výstupní hodnota bude +1 g, pokud bude orientován horizontálně, bude jeho výstupní hodnota 0 g a pokud bude orientován dolů, bude jeho výstupní hodnota -1 g.¹³

Akcelerometr v klidu vzhledem k zemi bude ukazovat zhruba +1 g směrem vzhůru, protože každý bod na zemi zrychluje vzhůru (aby kompenzoval gravitační zrychlení) vzhledem

10 Wiki.kn.vutbr.cz [online]. datum revize 26.2.2009 [cit. 15.1.2011]. Akcelerometr. Dostupné z WWW: <<http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?akcelerometr>>.

11 Accelerometer. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 12.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>>.

12 Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.

13 Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.

k místně inerciální soustavě (soustavě, která padá volným pádem blízko zemského povrchu). Proto musí být, k získání hodnot zrychlení, které korespondují s tím, co vnímají lidé na zemi, na toto gravitační pole a rotaci Země brán zřetel a od naměřených hodnot musí být tyto síly odečteny. Tomuto problému se podrobněji věnuje Einsteinova obecná teorie relativity.^{14 15}

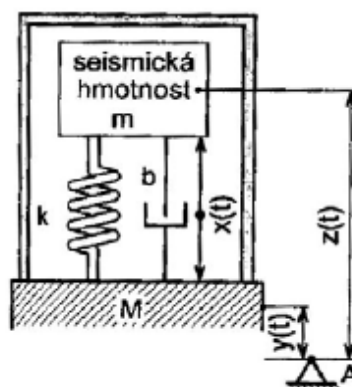
3.2.3 Princip činnosti akcelerometru

Rozlišujeme 2 způsoby měření:

- 1) měření absolutního zrychlení, kdy měříme zrychlení vůči zemi – například měření zemské přitažlivosti
- 2) měření relativního zrychlení, kdy měříme zrychlení hmoty vůči pohybujícímu se předmětu¹⁶

3.2.4 Obecná stavba akcelerometru

Akcelerometrů sice existuje spousta typů (viz kapitola Druhy senzorů), základ jejich konstrukce je však u všech podobný.



Obr. 3: Obecný model akcelerometru¹⁷

Skládá se ze tří základních částí: Základny (M), která je pevně spojena s měřeným objektem, dále pružně (k) uložené hmoty (m), jejíž pohyb je různými technologiemi vyhodnocován (b). Nezbytnou složkou je také tlumení, které při měření například vibrací zabraňuje překmitům a

¹⁴ Accelerometer. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 12.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW:

<<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>>.

¹⁵ Equivalence principle. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 12.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalence_principle>.

¹⁶ HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW:

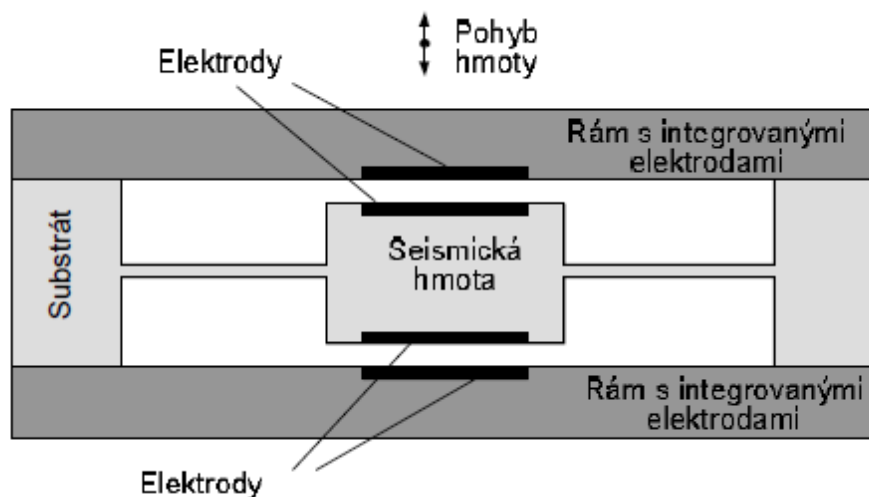
<<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.

zvyšuje maximální použitelnou frekvenci.¹⁷

3.2.5 Druhy senzorů

3.2.5.1 Kapacitní

Tento akcelerometr využívá změny elektrické kapacity, při pohybu seismické hmoty dochází ke



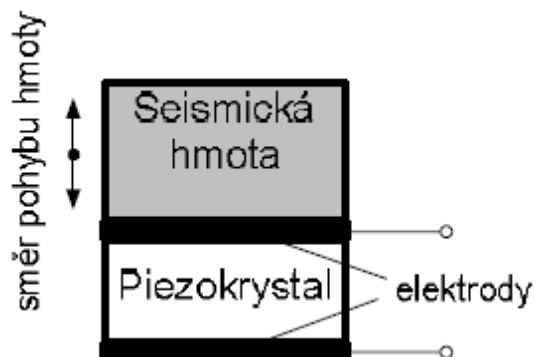
Obr. 4: Schéma jednoduchého kapacitního akcelerometru¹⁸

změně vzdálenosti elektrod (jeden pár se k sobě přibližuje, druhý se vzdaluje), a tím i ke změně kapacity. Tyto akcelerometry se používají ve složitých uspořádáních, jako je například diferenciální, nebo hřebenové, což zvyšuje přesnost.¹⁸

¹⁷ HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.

¹⁸ HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.

3.2.5.2 Piezoelektrický

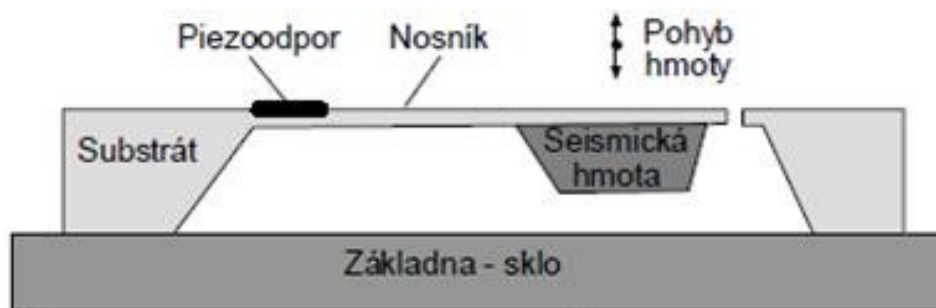


Obr. 5: Vnitřní uspořádání piezoelektrického akcelerometru¹⁸

Tento senzor využívá piezoelektrického jevu, kdy krystal při svém deformování generuje elektrické napětí.¹⁹ Tyto akcelerometry se používají hlavně pro měření vibrací, protože dokáží měřit i při frekvenci vibrací 30 kHz. Jsou také odolné vůči dynamickému zrychlení a mohou měřit až do 20 000 g. Výstupem je elektrický náboj/napětí.²⁰

3.2.5.3 Piezoodporový (tenzometrický)

Tento senzor využívá toho, že pohybem seismické hmoty dochází k prodlužování nebo ke



Obr. 6: Schéma piezoodporového akcelerometru²¹

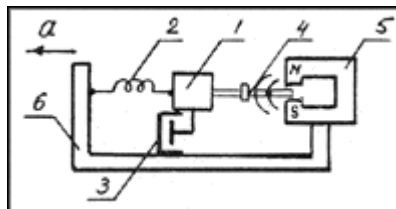
zkracování součástky piezoodporu (princip tenzometru), čímž se úměrně změní její ohmický

19 Piezoelektrický jev. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 31.10.2010 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrický_jev>.

20 HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.

odpor. Tyto senzory jsou použitelné do 13 kHz.²¹

3.2.5.4 Využívající Hallova jevu



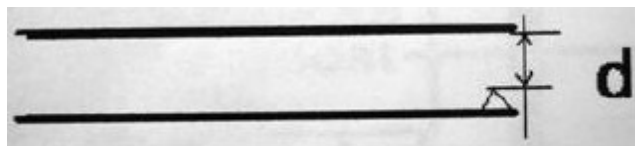
Obr. 7: Schéma akcelerometru využívajícího Hallova jevu²²

Tyto senzory využívají Hallova jevu, kdy pohyb k základně (6) pružně uchycené (2) seismické hmoty (1) s připevněným Hallovým prvkem (4) v magnetickém poli magnetu (5) generuje elektrický signál, úměrný zrychlení, který je vyhodnocován. Pohyb seismické hmoty je tlumen tlumičem (3).^{22 23}

3.2.5.5 Magnetorezistivní

Tyto senzory využívají principu magnetorezistence, kdy materiál mění svůj elektrický odpor v závislosti na magnetickém poli, ve kterém se nachází.^{24 25}

3.2.5.6 Využívající principu tunelování



Obr. 8: Schéma akcelerometru pracujícího na principu tunelování²⁶

21 HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.

22 KHAZAN, Alexander D. *National Instruments* [online]. 2006 [cit. 2011-01-15]. Hall Effect Accelerometer. Dostupné z WWW: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/106>>. ISBN 0-13-929480-5.

23 Hall%AFv jev. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 6.2.2010 [cit. 15.1.2010]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hall%AFv_jev>.

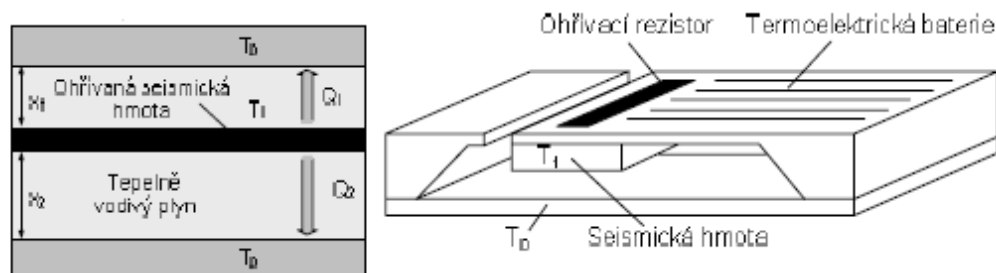
24 Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.

25 Magnetoresistance. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 9.9.2010 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetoresistance>>.

Tyto akcelerometry využívají principu tunelovacího mikroskopu, kdy při přiblížení atomů 2 těles na malou vzdálenost (d) mezi nimi začne proudit tunelovací proud v závislosti na vzdálenosti (d). Tyto senzory jsou extrémně citlivé a hmota se pohne o setinu nanometru.²⁶

3.2.5.7 Tepelné

Tento akcelerometr využívá principu, kdy seismická hmota o teplotě T_1 ohřívá tepelně vodivý



Obr. 9: Schéma tepelného akcelerometru²⁶

plyn na určitou teplotu. Pokud nepůsobí na senzor zrychlení, je zde tepelná rovnováha a do obou tepelných komor s tepelnými senzory (T_α , T_β) jde stejné množství tepla (Q_1 , Q_2). Vzdálenosti (x_1 , x_2) seismické hmoty od senzorů jsou nyní stejné. Pokud dojde ke zrychlení, vychýlí se seismická hmota a ohřívá jednu komoru více než druhou, což zaznamenají senzory v tepelných komorách. Tyto senzory jsou mnohem méně přesné než ostatní, jejich výhodou je ale odolnost vůči elektrostatickému nebo elektromagnetickému rušení.²⁷

3.3 Analýza pohybu – mechanika pohybu člověka²⁸

3.3.1 Úvod do pohybu člověka

V biomechanice studujeme pohyb, tj. rozsah pohybu, jeho stabilitu, působící síly atd. Pohyb je změna polohy tělesa vzhledem k jiným hmotným útvarům. (Změna místa hmoty v prostoru a času.) Také pohyb člověka je chápán jako změna polohy těla a jeho částí vzhledem k jiným hmotným útvarům (např. segmentům těla).

Pohyb je vždy vyvolán silou a síla je vždy vázána na hmotu. Silou na sebe působí dvě tělesa, která jsou buď ve vzájemném kontaktu, nebo se ovlivňují silovým polem (elektrickým, magnetickým, gravitačním).

Studovat pohyb těla znamená především analyzovat působení sil na tělo jako celek i působení

²⁶ HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>.

²⁷ HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>.

²⁸ NAVRÁTIL, L. – ROSINA, J., et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.

sil na jeho jednotlivé články. Na tělo působí zejména dvě síly: gravitace a síla svalů.

3.3.2 Gravitace a těžiště

Gravitace (zemská tíže) působí na celé tělo i na každou jeho část. Veškeré naše pohyby se dějí buď ve směru gravitačního působení (gravitační pohyby) nebo proti působení gravitačních sil (antigravitační pohyby). Tzv. pohyby „s vyloučením gravitace“ prováděné v horizontální rovině jsou hovorovým a nesprávným označením pro pohyby, které jsou samozřejmě prováděny také pod vlivem gravitačních sil. Protože silovému působení gravitace je vystaven každý hmotný prvek tělesa (každý článek těla), sčítají se tyto síly a výsledná síla pak působí z určitého bodu (směrem do středu Země), kterému říkáme těžiště. Každé těleso se chová tak, jakoby gravitace působila vždy pouze v jeho těžišti – působišti gravitační síly tělesa. Lidské tělo je článkované těleso, tzn., že při každé změně polohy – končetiny, hlavy, trupu, se mění nejen poloha těžiště příslušného segmentu, ale i poloha těžiště celého těla.

4 Vlastní rozpracování – praktická část

4.1 Popis Hardware

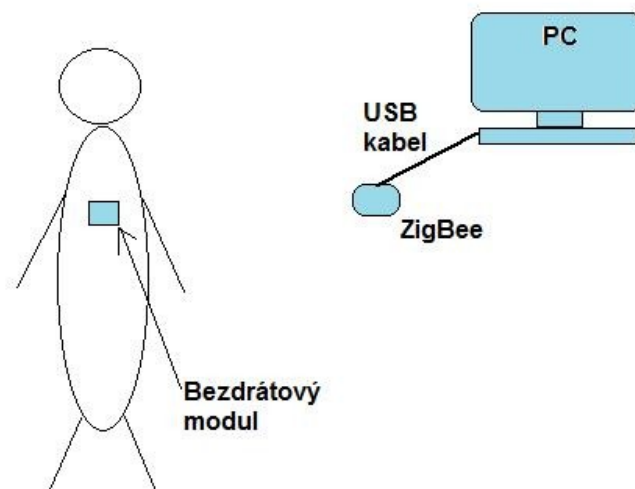
V této bakalářské práci se pracovalo se zařízením složeným z několika částí – bezdrátový modul, obsahující 3 osý akcelerometr MMA7455L, jehož hlavní specifikum je digitální výstup, nízká spotřeba energie, možnost kalibrace a filtrace. Jedná se o kapacitní typ akcelerometru o rozměrech 3 mm x 5 mm x 1 mm, jehož vstupní napětí může být v rozmezí od 2,4V do 3,6V. Umožňuje rozpoznat nárazy, vibrace, volný pád a pulzy.

Citlivost tohoto akcelerometru lze nastavit ve třech stupních: ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g. Akcelerometr má také robustní stavbu a dokáže odolat přetížení o velikosti až 5 000 g. Mezi jeho další výhody patří mimo jiné i nízká cena.

Nejčastěji se tento akcelerometr používá v mobilních telefonech a PDA pro stabilizaci obrazu, posunování textu a například také pro odmítnutí přichozího hovoru otočením telefonu displejem dolů. Jeho další využití je v laptotech pro detekci pádu. Tato funkce je důležitá pro ochranu rotujících ploten harddisků – při pádu se harddisk zastaví a tak se předejde poškození a případné ztrátě dat. Další využití v laptotech je pro upozornění na krádež při pohybu přístroje. Akcelerometr je používán i v krokoměrech.

Akcelerometr je navržen pro práci v teplotních podmínkách v rozsahu od -40 do +85 °C.

Bezdrátový modul je napájen jednou mikrotužkovou AAA baterií. Komunikace bezdrátového modulu s počítačem je zajištěna pomocí technologie ZigBee.



Obrázek 10: Schéma měřicího řetězce



Obr. 11: Bezdrátový modul

4.2 Programová část

4.2.1 Vývojový diagram případů užití

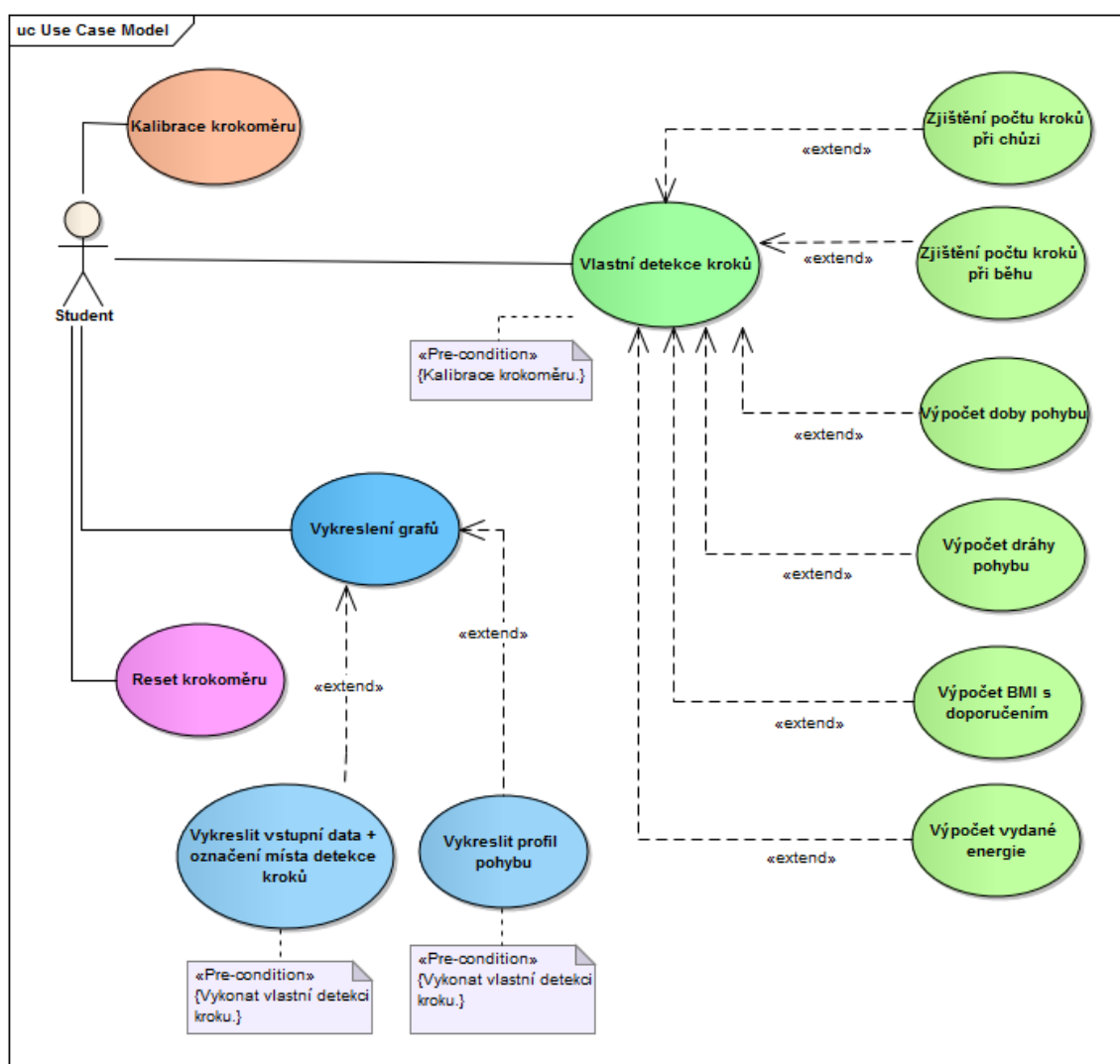
Diagram užití zachycuje požadavky systému nebo na systém. V podstatě se jedná o zobrazení dynamické (funkční) struktury systému z pohledu uživatele. Primárně je určen k definici chování systému, aniž by odhaloval jeho vnitřní strukturu.²⁹

²⁹ Use case diagram. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24 March 2006 , last modified on 3 May 2011 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Use_case_diagram>.

V diagramu užití pro software krokoměru vystupuje jeden aktér – student. Jeho požadavky na systém jsou znázorněny pomocí případů užití – elipsy. Propojovací linkou s volitelnou šipkou na konci je znázorněn směr řízení. Případ užití „Vlastní detekce kroků“ a „Vykreslení grafů“ je rozšířeno dalšími případy užití pomocí extend.

Vstupní podmínka (pre-condition) specifikuje podmínky, kterým je třeba vyhovět před započítáním případu užití, které musí být splněny po jeho skončení, resp. které musí platit po dobu jeho provádění.

Pro vytvoření vývojových diagramů byl použit program Enterprise Architect.



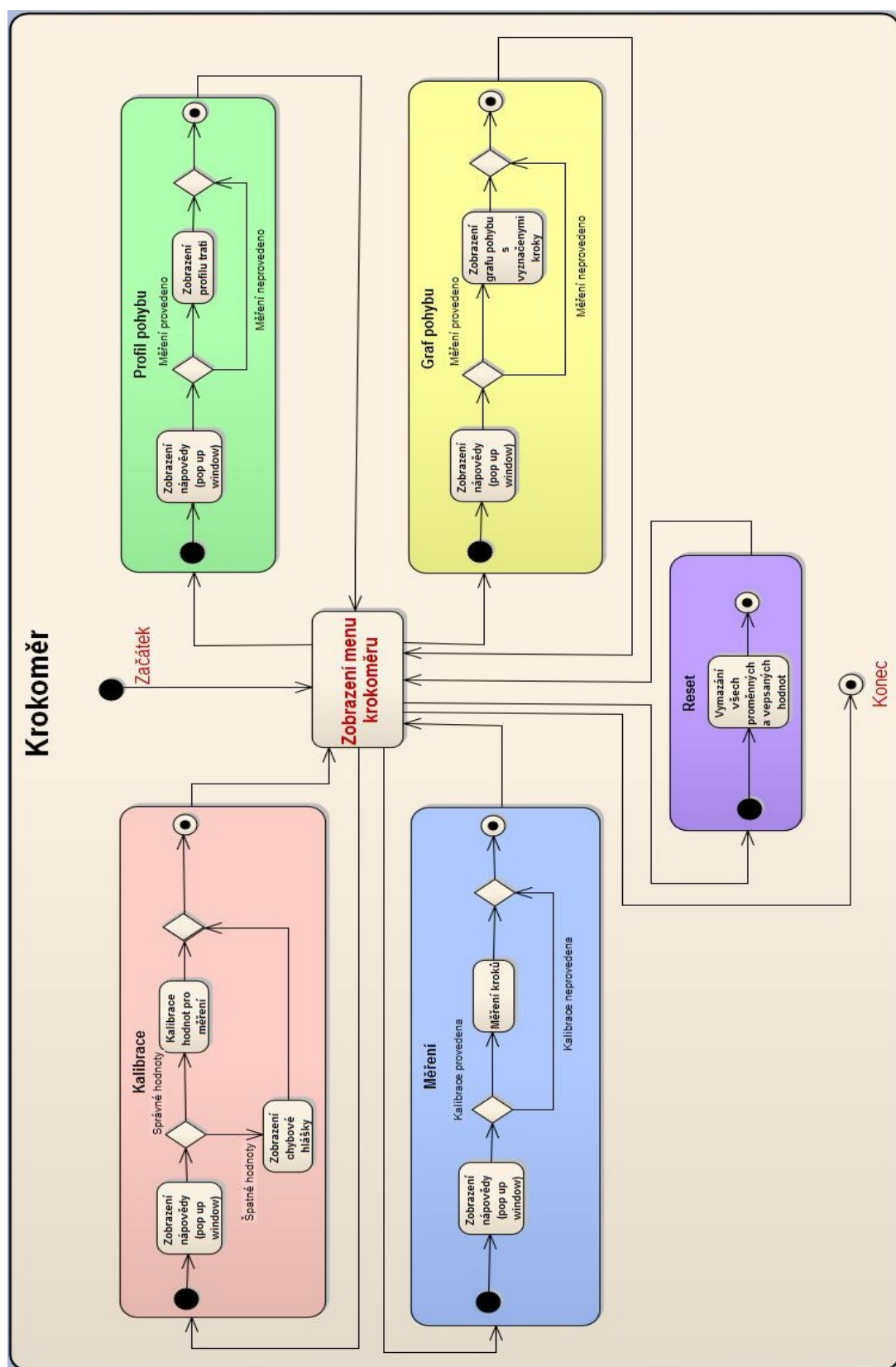
Obr. 12: Diagram případů užití pro software krokoměru

4.2.2 Vývojový diagram aktivit

Tento diagram je v UML (Unified Modeling Language) používán pro zobrazení posloupnosti aktivit. Activity diagram ukazuje tok akcí od startovacího bodu ke koncovému bodu, přičemž zpochobňuje řadu rozhodovacích cest, které existují při postupu mezi jednotlivými událostmi vznikajícími při provádění činností.³⁰

Pro snadnější pochopení činnosti software krokoměru byl vytvořen následující diagram aktivit (viz obr. 13).

³⁰ Activity diagram. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 29 November 2005, last modified on 27 April 2011 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Activity_diagram>.



Obr. 13: Diagram aktivit pro software krokoměru

4.2.3 Grafické uživatelské rozhraní

Vytvořené grafické uživatelské rozhraní (GUI) dovoluje uživateli pohodlně zadávat údaje do polí, k tomu určených, bez nutnosti zásahu do zdrojového kódu. Umožňuje také přehledné zobrazení výsledků.

Pomocí rozhraní Guide je možno v programu Matlab vytvořit GUI. Rozhraní Guide umožňuje jednoduché vytvoření výsledné podoby GUI podle představ tvůrce programu.

Bylo vytvořeno jednoduché uspořádání, které umožňuje intuitivní používání všech funkcí. Všechny funkce programu jsou seřazeny podle postupu užití v programu od shora dolů, což uživateli ulehčí práci s programem. GUI pro software krokoměru byl rozdělen do třech barevně odlišených částí pro lepší orientaci. Každá z těchto částí obsahuje několik prvků, sdružených podle jejich účelu (kalibrace, detekce počtu kroků a vykreslování grafů).

Pomocí vyskakovacích oken (pop-up windows) je uživatel upozorněn na špatně zadaná data, nebo je pomocí nich naváděn k dalšímu postupu. Pro lepší orientaci v GUI jsou pomocí vyskakovacích oken řešeny i grafy.

The screenshot displays the GUI for the 'Krokoměr' (step counter) program, organized into three distinct color-coded sections:

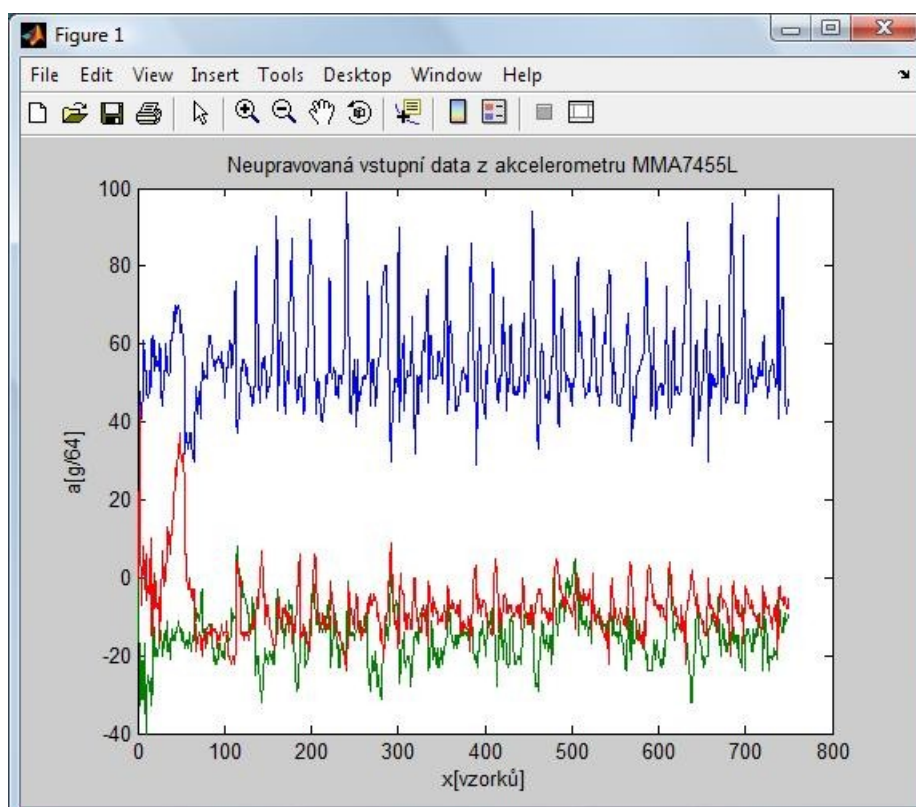
- Kalibrace pohybu (Pink Section):** Contains input fields for 'Počet ujitých kroků:' (42) and 'Počet uběhnutých kroků:' (12). It also shows 'Používaná data: pokusUnor.mat' and 'Start'/'Reset' buttons.
- Energie, délka trati, detekce kroků... (Blue Section):** Features a dropdown for 'Zadejte pohlaví:' (muž), input fields for 'Zadejte vaši hmotnost (v kg):' (80) and 'Zadejte vaši výšku (v metrech):' (1.8). It displays calculated values: 'Váš BMI je: 24.6914' and 'Máte normální hmotnost.' On the right, it shows 'Počet kroků při chůzi je 21', 'Počet kroků při běhu je 4', 'Výdaná energie je 2.09541 kcal', 'Pohyboval/a jste se 30 s', and 'Délka trati je 22.683 metrů'. At the bottom, it shows 'Používaná data: cca50stpHrud.mat' and 'Start'/'Reset' buttons.
- Profil pohybu, graf vstupních dat (Pink Section):** Contains two buttons labeled 'Vykreslit profil pohybu:' and 'Vykreslit graf vstupních dat:', each with a 'Start' button, and a 'Reset' button at the bottom right.

Obr. 14 : GUI Krokoměru

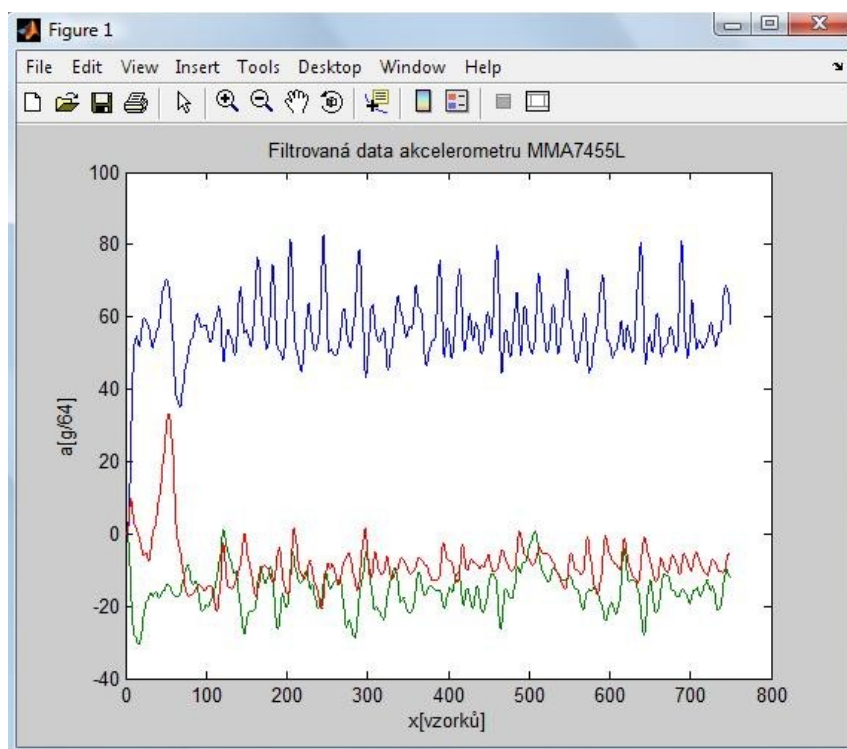
4.2.4 Analýza akcelerometrických dat

Výstupní hodnoty akcelerometru MMA7455L zavěšeného na hrudi, získané při běžné chůzi po rovném povrchu, byly přeneseny do počítače a následně z nich byl vytvořen graf. Z grafického zobrazení takto naměřených dat byla nejvýraznější především osa vertikální, tj. ve směru

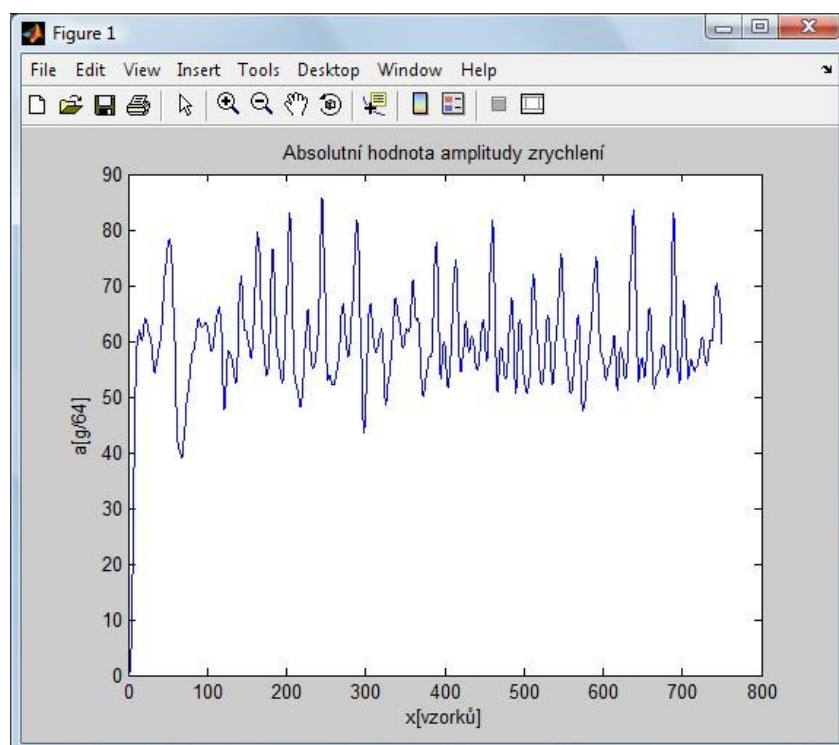
pohybu osoby nahoru a dolů. Zbylé dvě zobrazené osy také zaznamenaly pohyb, avšak jejich hodnoty a velikost jsou pro výsledný algoritmus minimálně důležité, přesto je s nimi nutné i nadále počítat. Takto získané hodnoty byly odfiltrovány pro odstranění nežádoucích pohybových artefaktů. Byl použit filtr typu dolní propust desátého řádu, kterým byly odstraněny vyšší nežádoucí frekvence. Odfiltrovaná data byla následně převedena do jedné, výsledné křivky jako absolutní hodnota amplitudy zrychlení, u které zanedbáváme směr.



Obr. 15: Neupravovaná vstupní data



Obr. 16: Filtrovaná vstupní data



Obr. 17: Absolutní hodnota amplitudy zrychlení

4.2.5 Kalibrace

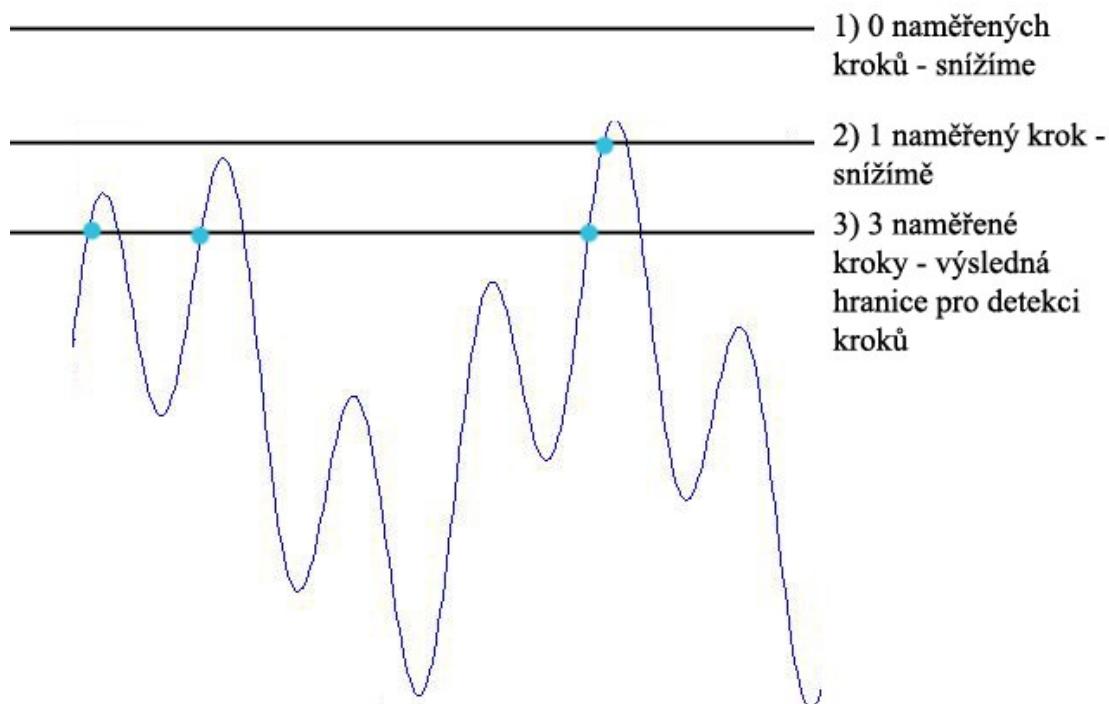
Účelem kalibrace je nastavení programu na každého jednotlivého uživatele. Data se pro vyhodnocení grafu nemusí zadávat ručně, ale zjistí se automaticky. Kalibrace pro každého uživatele zvlášť je nutná, protože každá osoba má jinou hodnotu zrychlení při pohybu a pokud chceme, aby software pracoval co nejpřesněji, je toto přesné nastavení na každého uživatele nezbytné. Software umožňuje kalibraci chůze i běhu dohromady, popřípadě zvlášť. Uživatel vykoná libovolný počet kroků, který si však proto, aby kalibrace proběhla úspěšně, musí pamatovat. Zapamatovaný údaj o počtu kroků při chůzi a kroků při běhu uživatel zapíše do vytvořeného GUI. Po stisknutí tlačítka „Start“ se spustí proces kalibrace, to ale pouze v případě, že uživatelem byl zadán „správný počet“ kroků. Pokud bude zadán příliš velký počet kroků neúměrný počtu vzorků v nahraných datech, počet kroků při chůzi či při běhu bude záporný, nebo bude počet kroků při chůzi a současně i při běhu nulový, software uživatele upozorní pomocí vyskakovacího okna a kalibrace se nespustí.

Nejprve je uživatel vyzván k výběru a načtení uložených dat. Toto je umožněno použitím příkazu `uigetfile`, který otevře okno pro procházení souborů na PC a výběr dat. Průzkumník je nastaven tak, aby zobrazil pouze soubory s příponou `.mat` a usnadnil tak uživateli vyhledávání. Poté je vybraný soubor načten pomocí příkazu `load(FileName)`. V GUI se uživateli vypíše název souboru, který je právě používán, aby si uživatel nemusel pamatovat název souboru pro kalibraci dat. Jako další krok je spuštěn samotný proces kalibrace softwaru na uživatele. Nakonec je pomocí vyskakovacího okna uživateli doporučeno zhlédnout přiložený video tutoriál k software. Výsledkem kalibrace je zjištěná hodnota, pomocí které je detekován přesný počet kroků daného uživatele.

Kalibrační algoritmus se skládá ze dvou cyklů – vnějšího, který slouží ke snížení limitní hranice pro určení kroku, a vnitřního, který je pro kalibraci i detekci kroků společný; vyhodnotí celý soubor dat a slouží k určení počtu kroků, které by se pro danou hodnotu limitní hranice pro určení kroku zaznamenaly při vlastní detekci kroků. V kalibraci je užíván algoritmus, který je vysvětlen v kapitole 4.2.6 Vlastní detekce kroků. Pro vysvětlení funkce kalibračního algoritmu (ve skutečnosti je software schopen vyhodnotit chůzi i běh najednou, pro snadnější pochopení je proces vysvětlen pouze na jednom druhu pohybu – například chůzi) slouží následující obrázek.

Proces kalibrace

- 1) Zadání skutečně odchozených kroků uživatelem (v tomto příkladě 3)
- 2) Snižování hranice pro detekci kroků, dokud se detekované hodnoty neshodují se zadanými.
- 3) Výsledná hranice pro detekci kroků



Obr. 18: Princip kalibrace

Ve skutečnosti se software nejprve kalibruje pro kroky při chůzi tak, že sečte počet udaných kroků při chůzi a při běhu (proto, že limita se snižuje z nejvyšší hodnoty obsažené v datech, kroky při běhu mají větší amplitudu než kroky při chůzi, a pokud by při zadání 2 kroků při běhu a 3 kroků při chůzi měl algoritmus přestat fungovat již při zaznamenání 3 kroků, zaznamenal by pouze 1 ze 3 kroků při chůzi a oba dva kroky při běhu – proto algoritmus snižuje limitní hranici, až dokud nedosáhne hodnoty součtu kroků při chůzi a při běhu, tj. v našem případě 5) a poté v každém cyklu snižuje limitní hranici pro určení kroku, dokud nezaznamená počet, který uživatel zadal do GUI. V každém cyklu se hodnota limitní hranice pro určení kroku sníží o 0,1. Kalibrace softwaru pro kroky při běhu probíhá podobně jako kalibrace pro kroky při chůzi, software se ale zastaví již při dosažení hodnoty udaných kroků při běhu (tj. v našem případě 2). Tato kapitola pouze nastiňuje základní principy fungování algoritmu, pro úplné pochopení je nutné nastudovat příložený zdrojový kód – řádek 404 a následující.

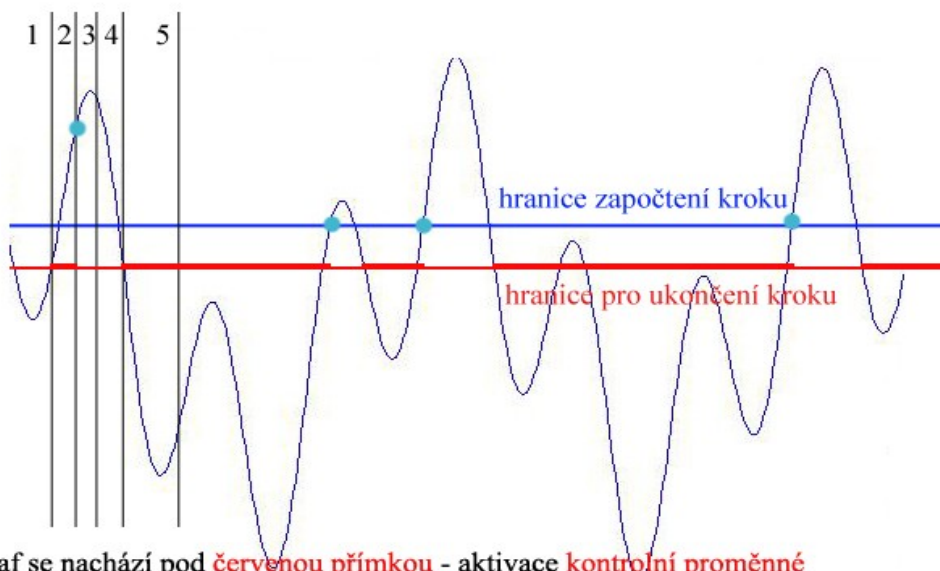
4.2.6 Vlastní detekce kroků

Po kalibraci může uživatel přejít k vlastnímu měření počtu kroků (viz Obr. 19). Ve vytvořeném GUI spustí tlačítkem „Start“ vlastní měření počtu kroků. Nejprve se uživateli zobrazí vyskakovací okno s náповědou. Následně je stejně jako u kalibrace otevřeno okno průzkumníku, kde jsou uživatelem vybrána data pro detekci počtu kroků. Data pro kalibraci a měření mohou být různá, pro kalibraci jsou dostačující data obsahující několik kroků při chůzi a při běhu, pro detekci kroků na délce dat prakticky nezáleží. Výsledkem je pak skutečný počet vykonaných kroků při chůzi a při běhu sledované osoby. Tento oddíl GUI umožňuje také vypočítat a zobrazit hodnotu vydané energie, trvání pohybu, předpokládanou délku trati a hodnotu Body Mass Indexu. O těchto možnostech softwaru bude pojednáno v dalších kapitolách této práce.

Základní algoritmus pracuje s kontrolními proměnnými pro určení kroků při chůzi a při běhu, získanými kalibrací. V části křivky nad hodnotou pro určení kroku se ale nachází velké množství bodů, které splňují podmínku pro detekci kroku. Proto byla zavedena kontrolní proměnná, která je jednou z podmínek pro zápis kroku. Kontrolní proměnná se aktivuje, pokud je bod křivky pod hranicí pro ukončení kroku, a aktivovaná kontrolní proměnná umožňuje zapsat právě jeden krok. Po zápisu kroku se kontrolní proměnná deaktivuje a není tedy možné zapsat další krok, dokud se bod grafu zase nedostane pod hranici pro ukončení kroku a kontrolní proměnná se znovu neaktivuje. Pro snadnější pochopení slouží přiložený obrázek.

Vyhodnocení naměřených hodnot algoritmem

Krok se započítá, jsou-li splněny 2 podmínky: graf se nachází nad **hranicí pro započtení kroku** a je aktivní **kontrolní proměnná**. **Kontrolní proměnná** se aktivuje v případě, že se graf ocitne pod **hranicí pro ukončení kroku** a deaktivuje se po **zápisu kroku**.



- 1) Graf se nachází pod **červenou přímkou** - aktivace **kontrolní proměnné**
- 2) Graf se nachází nad **modrou přímkou** a současně je aktivní **kontrolní proměnná** - **zápis kroku** + deaktivace **kontrolní proměnné**
- 3) Graf se nachází nad **modrou přímkou**, ale není aktivní **kontrolní proměnná** - **zápis kroku** se neprovede
- 4) Graf se opět nachází pod **červenou přímkou** - aktivace **kontrolní proměnné**
- 5) Žádná změna

Legenda

- započtení kroku; ■ aktivovaná kontrolní proměnná
- neaktivní kontrolní proměnná

Obr. 19: Princip vlastní detekce kroků

Tento obrázek slouží pouze pro nastínění principu a počítá pouze kroky při chůzi. Používaný algoritmus je ale schopen spočítat kroky vykonané při chůzi i při běhu zároveň, proto je složitější. Odlišnost struktury jednoduchého algoritmu, počítajícího pouze kroky při chůzi, a složitějšího, počítajícího kroky při chůzi a při běhu zároveň, je popsána v posledních 2 odstavcích předchozí kapitoly o kalibraci, protože tato část zdrojového kódu je pro kalibraci i detekci kroků společná.

Tato kapitola pouze nastiňuje základní principy fungování algoritmu, pro úplné pochopení je nutné nastudovat příložený zdrojový kód – řádek 200 a následující.

4.2.7 Množství vydané energie

Software je schopen vypočítat přibližné množství vydané energie. Pro výpočet energie je třeba znát hmotnost vyšetřované osoby, protože s vyšší hmotností narůstá i množství vydané energie. Pro osobu, u které bude prováděna detekce počtu kroků, se zapíše její váha do GUI. Spojitost mezi hmotností a vydanou energií byla zjištěna z materiálů společnosti Biospace Co, Ltd.³¹ Tyto materiály jsou součástí měření InBody, které používá zdravotní pojišťovna VZP a obsahují mimo jiné i hodnoty množství vydané energie při různých aktivitách za 30 minut vypočítané přímo pro konkrétní osobu o konkrétní hmotnosti.

Po vydělení tohoto čísla hmotností měřené osoby a počtem kroků při chůzi a při běhu za 30 minut byla pomocí přímé úměry určena energetická hodnota jednoho kroku při chůzi a při běhu na 1 kg hmotnosti člověka. Vypočítaná hodnota energie pro 1 krok při chůzi na 1 kg hmotnosti je 0,00061234 kcal a vypočítaná hodnota energie pro 1 krok při běhu na 1 kg hmotnosti je 0,00083654 kcal.

Tyto hodnoty jsou vynásobeny hmotností měřené osoby a počtem kroků při chůzi a při běhu, které byly detekovány algoritmem pro detekci počtu kroků, viz kapitola Vlastní detekce kroků.

Hodnota vydané energie je v software vypsána v jednotkách kcal, je ale možno tuto vypočítanou energii převést i na kiloJoule (kJ). Převodní poměr je: 1 kcal = 4,1868 kJ.

Počet kroků při chůzi je	42	
Počet kroků při běhu je	12	
Vydaná energie je	3.0602	kcal.

Obr. 20: Část GUI pro výpočet vydané energie

4.2.8 Index tělesné hmotnosti

Index tělesné hmotnosti (Body Mass Index - BMI) je číslo používané jako měřítko obezity, umožňuje statistické porovnávání lidí s různou výškou. Index se spočítá vydělením hmotnosti (hodnota je udávána v kilogramech) daného člověka druhou mocninou jeho výšky (hodnota výšky je udávána v metrech). BMI u konkrétního jedince je příliš jednoduchým prostředkem ignorující velké množství důležitých faktorů, například stavbu těla, věk, pohlaví a rasu. Využívá se zejména pro statistické průzkumy o velkém počtu subjektů, nejčastěji pro zkoumání korelace mezi obezitou a jinými faktory. Ideální hodnota BMI je v rozmezí 18,5 – 25.

V závislosti na zadaných hodnotách hmotnosti a výšky jedince program vyhodnotí nejen výsledné číslo Body Mass Indexu, ale zároveň se s výsledkem do GUI vypíše, jak je výsledná tělesná hmotnost podle BMI klasifikována.

31 Materiály společnosti Biospace Co, Ltd, používané veřejnou zdravotní pojišťovnou VZP

Klasifikace byla v programu vytvořena následovně:

Rozsah BMI	Kategorie
< 18,5	Podváha.
18,5 – 25	Normální hmotnost.
25 – 30	Nadváha.
30 – 35	Obezita 1. stupně.
35 – 40	Obezita 2. stupně.
> 40	Obezita 3. stupně.

Tabulka 1: Hodnoty BMI.

Dále se v případě, že vyšetřovaná osoba nemá hodnotu BMI v normálním rozmezí, do GUI zapíše doporučení, zda by daná osoba měla přibrat či zhubnout a o kolik kilogramů je nutno nynější hmotnost zvýšit nebo snížit, aby se hmotnost a tudíž i BMI dostala do kategorie normální hmotnosti.

Přesný počet kilogramů ke zhubnutí (proměnná *zhubni*) je v programu Matlab (proměnná pro označení výšky se jmenuje *vyska*) vypočítán podle vzorce

```
zhubni=hmotnost - (vyska * vyska * 25);
```

a následně zaokrouhlen na celé číslo pomocí funkce `zhubni=ceil(zhubni)`.

Doporučení k úpravě váhy vždy směřuje k nejbližší zdravotně přijatelné váze, to znamená při nadváze je vypsán počet kilogramů, který je potřeba zhubnout k dosažení BMI 25 a při podváze je vypsán počet kilogramů, který je třeba přibrat pro dosažení BMI 18,5. Následně je proveden výpis tohoto doporučení.

Zadejte pohlaví: muž

Zadejte vaši hmotnost (v kg): 105

Zadejte vaši výšku (v metrech): 1.82

Váš BMI je: 31.6991

Máte obezitu 1. stupně.

Měl/a byste zhubnout 23 kg.

Obr. 21: Část GUI pro výpočet BMI

4.2.9 Předpokládaná délka trati

K zjištění předpokládané délky trati software pracuje s experimentálně zjištěnou průměrnou délkou kroku při chůzi a při běhu a s počtem detekovaných kroků při chůzi a při běhu z načtených dat. Průměrná délka kroku při chůzi je tedy 0,798 m a průměrná délka kroku při běhu je 1,276 m. Algoritmus pro vypočítání délky trati násobí zjištěný počet detekovaných kroků průměrnou hodnotou délky kroku při chůzi či běhu podle vzorce (názvy proměnných jsou bez diakritiky):

$$\text{delka} = ((\text{beh}) * \text{delkabeh}) + ((\text{k-beh}) * (\text{delkachuze}))$$

Celková délka pohybu (proměnná „délka“) se vypočítá jako součet 2 hodnot: součinu počtu kroků při běhu (proměnná „beh“) a délky 1 kroku při běhu (proměnná „delkabeh“) a součinu počtu kroků při chůzi (rozdíl proměnných „k-beh“) a délky 1 kroku při chůzi (proměnná „delkachuze“).

Výsledek se do GUI zapíše v metrech.

4.2.10 Určení průměrné délky kroku chůze a běhu

4.2.10.1 Cíl experimentu

Cílem experimentu je zjistit průměrnou délku kroku při chůzi a při běhu.

4.2.10.2 Hlavní hypotéza experimentu

Průměrná délka kroku při chůzi je kratší než průměrná délka kroku při běhu.

4.2.10.2.1 Pracovní hypotézy

PH 1: Délka kroku při běhu je dvakrát delší než délka kroku při chůzi.

PH 2: Počet kroků při chůzi vykonaných za 1 sekundu je menší než počet kroků při běhu vykonaných za 1 sekundu.

4.2.10.3 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor zahrnoval 10 studentů (4 ženy, 6 mužů) Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, kteří byli osloveni 7. 4. 2011 v 15:45 hod u laboratoře E203. Do souboru byl zařazen každý student, který splňoval následující kritéria pro zařazení.

Kritéria pro zařazení do souboru:

- Ochota ke spolupráci
- Ústní souhlas studenta ke zpracování dat
- Věk 19 - 25 let
- Přirozená mobilita člověka
- Pohyb bez kompenzačních pomůcek

Vylučující kritéria nebyla stanovena.

4.2.10.4 Metoda a technika experimentu

Zvolenou metodou sběru dat pro tento experiment byla kvantitativní metoda výzkumu. Před začátkem experimentu byly vždy zaznamenány o konkrétní vyšetřované osobě následující údaje: pohlaví, výška, váha. Délka trasy pro tento experiment byla 20 m. Student šel přirozenou chůzí vyznačených 20 metrů a přitom si počítal počet kroků, které ušel. Doba chůze byla měřena na stopkách. Pro přesnější výsledek experimentu, byl tento pokus vykonán celkově třikrát. Analogicky se postupovalo i při měření průměrné délky kroku při běhu. Výsledky z provedeného experimentu byly zaznamenány a statisticky zpracovány.

4.2.10.5 Zpracování dat

Zpracovaná data experimentu jsou zapsána v tabulkách číslo 1, 2 (viz. Přílohy).

Zaznamenaná data byla zpracována pomocí aritmetického průměru.

Bylo zjištěno, že průměrná výška vyšetřované skupiny osob je 1,78 m a průměrná hmotnost činí 80,8 kg. Z výsledků dále vyplynulo, že průměrná délka kroku při chůzi je 0,798 m a průměrná délka kroku při běhu je 1,276 m. Nakonec byl určen počet kroků při chůzi za 1 sekundu, který je 1,812 a počet kroků při běhu za 1 sekundu což je 2,325.


4.2.11 Doba trvání pohybu

Algoritmus pro výpočet času je postaven na jednoduchém principu. Pokud je známo, že za 1 sekundu bezdrátový modul zaznamená 25 vzorků, jednoduchým vydělením celkového počtu vzorků v analyzovaných datech číslem 25 dostaneme délku pohybu ve vteřinách a následně je proveden výpis.

1) Pokud trval pohyb méně než jednu minutu, bude zobrazen čas v sekundách bez nutnosti dalších úprav.


2) Pokud trval pohyb více než jednu minutu a méně než jednu hodinu (například 20,5 minuty, tj. 1230 s), vydělí se počet sekund číslem 60 a poté bude zaokrouhlen dolů (tj. na 20). Následně je od celkového času pohybu odečtena hodnota rovnající se součinu minut zaokrouhlených dolů (20) a počtu sekund v 1 minutě (60). Zbytkem je počet sekund, který přebývá nad počet minut zaokrouhlených dolů (20), tj. 30 sekund. Nakonec je proveden výpis počtu minut a sekund, tj. 20 minut 30 sekund.

3) Pokud pohyb trval jednu hodinu a více, je na základě stejného principu jako v bodu 2 vypočítán počet hodin, minut a sekund a následně i vypsán.



Pohyboval/a jste se 49 s

Obr. 22: Část GUI pro zobrazení doby pohybu v sekundách.



Pohyboval/a jste se 1 m 50 s

Obr. 23: Část GUI pro zobrazení doby pohybu delšího než 1 minuta.

Zjištěná doba pohybu vyšetřované osoby je pro větší přehlednost vypisována přímo k textu „Pohyboval/a jste se“ tím, že při každé z variant doby pohybu (méně než 1 minutu, 1 minuta až 1 hodina, více než jedna hodina) jsou hodnoty zapisovány do jiných textových polí.

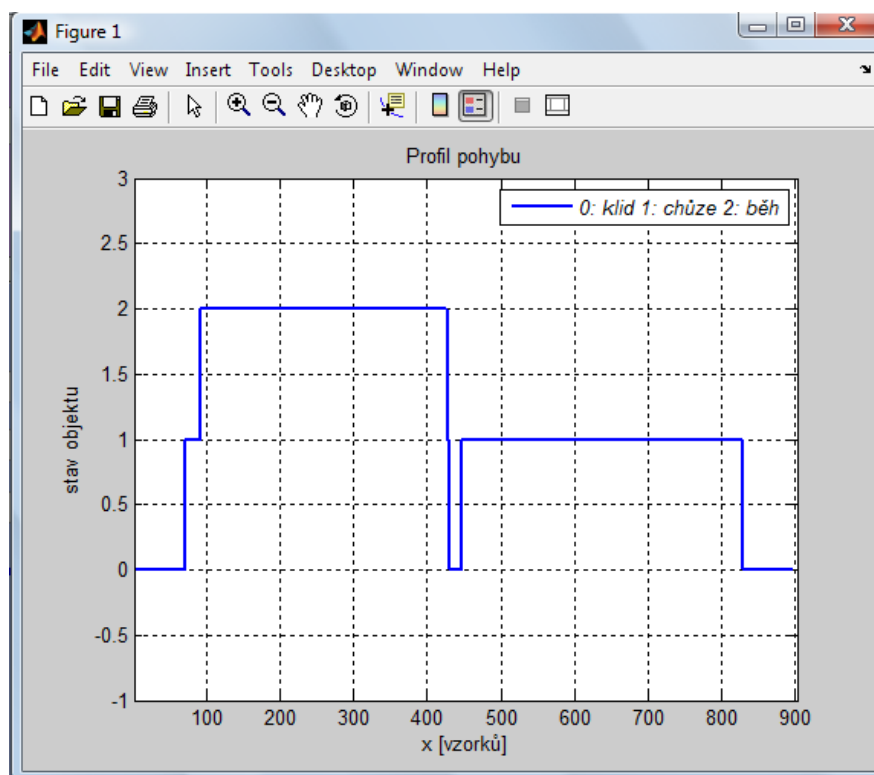
4.2.12 Profil pohybu

Profil pohybu je grafické znázornění, které slouží pro rozpoznání jednotlivých druhů pohybu (klid, chůze, běh) v čase. Pomocí profilu pohybu je možné zjistit, kdy během daného měření a jak dlouho člověk šel, popřípadě běžel nebo stál.

Vykreslení grafu profilu pohybu je spuštěno po stisknutí tlačítka „Start“ v sekci GUI s názvem „Profil pohybu“. Před samotným vykreslením grafu profilu pohybu je uživatel upozorněn vyskakovacím oknem na nutnost provedení detekce kroků.

Algoritmus pro zjištění a vykreslení profilu pohybu je založen na tom, že nejprve je do všech řádků 5. a 6. sloupce dat vloženo pomocí cyklu číslo nula. Následně je po každém kroku při chůzi do 5. sloupce dat zapsáno na aktuální a následujících 39 řádků číslo 1 a po každém kroku při běhu je do 6. sloupce dat zapsáno na aktuální a následujících 39 řádků také číslo 1, které nahradí nulu.

Graf profilu pohybu je vytvořen jako graf součtu 5. a 6. sloupce za čas (počet vzorků).



Obr. 24: Graf profilu pohybu

Na obrázku 24 je zobrazen graf profilu pohybu, z kterého je patrné, že uživatel během měření prvních cca 70 vzorků byl v klidu (hodnota nula na ose „stav objektu“), poté asi 350 vzorků běžel (hodnota dvě na ose „stav objektu“) a po krátké pauze asi 400 vzorků šel chůzí (hodnota jedna na ose „stav objektu“). Nakonec se uživatel zastavil, což je znázorněno hodnotou nula na ose „stav objektu“. V pravém horním rohu grafu se nachází legenda pro usnadnění pochopení grafu.

4.2.13 Vykreslení vstupních dat

Tato část software umožňuje vykreslit přefiltrovaná zdrojová data a zobrazuje místo, kde byl daný krok detekován.

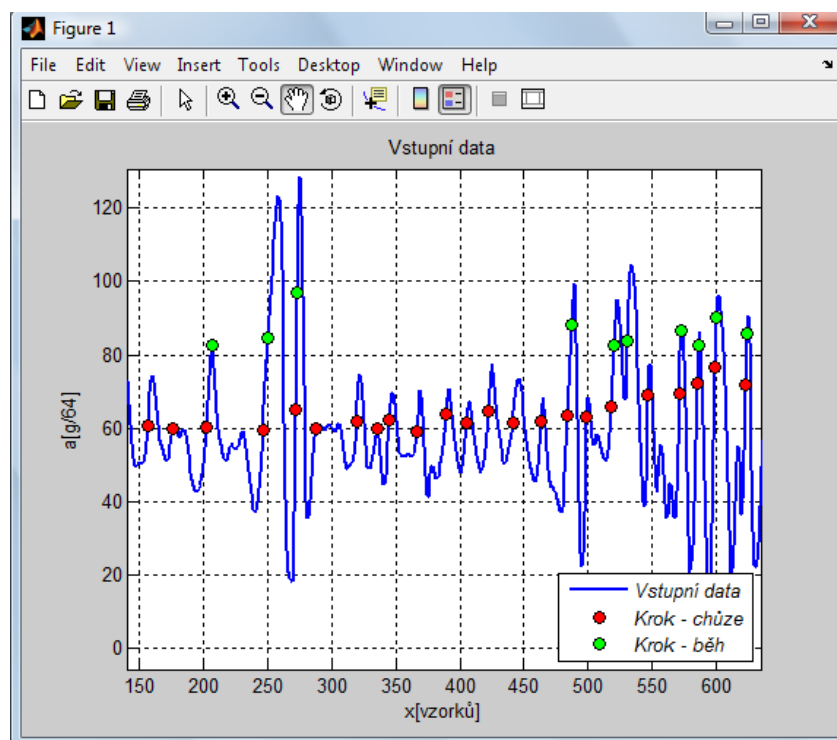
Vykreslení grafu vstupních dat je spuštěno po stisknutí tlačítka „Start“ v sekci GUI s názvem „Graf vstupních dat“. Před samotným vykreslením grafu vstupních dat je uživatel upozorněn vyskakovacím oknem na nutnost provedení detekce kroků.

Experimentem bylo zjištěno, že vykreslení dat o rozsahu větším než 500 vzorků není dobře čitelné. Proto, pokud délka dat přesáhne 500 vzorků, vykreslí se pouze posledních 500 vzorků dat. Je ale možné si pomocí tlačítka „Pan“ prohlédnout i předchozí data. Pokud délka dat nepřesáhne 500 vzorků, budou vykresleny všechny.

Místo, kde byl krok detekován, je v grafu vstupních dat označeno červeným kolečkem pro krok při chůzi a zeleným kolečkem pro krok při běhu. Po každém započtení kroku při chůzi a při běhu během vlastní detekce kroků je bod započtení zaznamenán a v tomto místě jsou poté v grafu vstupních dat vyznačena tato barevná kolečka. V grafu bylo ponecháno označení kroku při chůzi i pod označením kroku při běhu. Toto slouží ke kontrole správnosti detekce počtu kroků. Algoritmus pro detekci kroků detekuje kroky při chůzi a při běhu dohromady (a potom kroky při běhu odečítá – viz kapitola Vlastní detekce kroků), proto je počet červených koleček roven součtu počtu kroků při chůzi a počtu kroků při běhu.

Kolečka nejsou ve vrcholech kroků z důvodu použitého algoritmu, viz kapitola Vlastní detekce kroků.

Součástí grafu je i legenda, která vysvětluje použité prvky grafu.



Obr. 25: Graf vstupních dat

4.2.14 Video tutoriál

Vytvořený software je, i přes snahy o co nejvíce uživatelsky příjemné prostředí, poměrně složitý. Proto byl vytvořen video tutoriál, který představí uživateli všechny možnosti softwaru ve videu.

Pro vytvoření videa byl použit software CamStudio, pomocí kterého je možné zaznamenávat dění na obrazovce PC. K videu byly poté přidány ručně vytvořené titulky, které uživatele provádí video tutoriálem.

Pro přehrávání videa s titulky je třeba mít nainstalovány nejnovější ovladače.



Obr. 26: Část video tutoriálu – titulky

4.2.15 Funkční tlačítko Reset

Pro možnost kalibrace a měření více skupin dat bez nutnosti vypnutí a nového zapnutí software slouží tlačítko Reset, které navrátí hodnoty všech proměnných používaných v software do původních hodnot a přepíše všechny hodnoty vypsané v GUI na původní hodnoty.

5 Laboratorní úloha

V rámci bakalářské práce byla vytvořena laboratorní úloha dle šablon a standardů BME VŠB – TU Ostrava.

Zadání laboratorní úlohy se nachází v příloze (viz Příloha 1).

Zde je vlastní vypracování laboratorní úlohy.

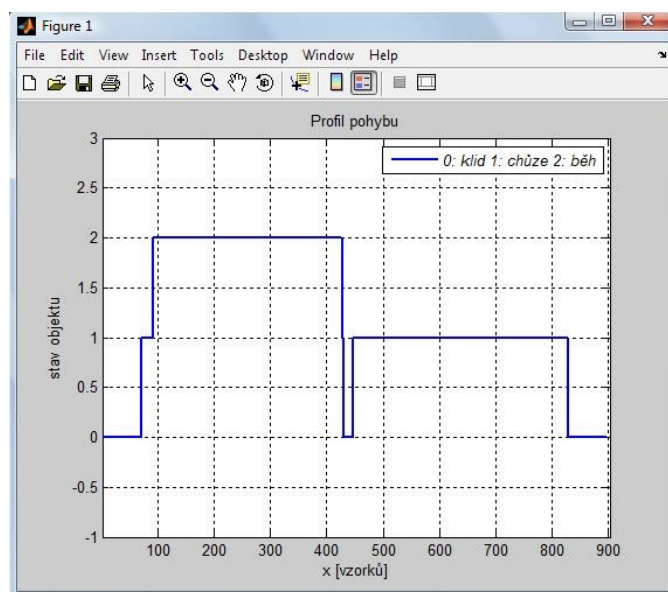
5.1 Výsledky

5.1.1 Úloha 1:

Z přiloženého datasheetu akcelerometru MMA7455L jsem zjistila, že se jedná o 3osý kapacitní akcelerometr o rozměrech 3 mm x 5 mm x 1 mm. Vstupní napětí je v rozsahu od 2,4 V do 3,6 V. Citlivost je možno nastavit ve třech stupních, tj.: ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g. Maximálně snesitelné zrychlení je 5000 g.

5.1.2 Úloha 3:

Měření jsem provedla podle zadání. Počty skutečně ujitých a softwarem změřených kroků se shodovaly. Graf profilu pohybu z úlohy 3b správně odlišil běh a chůzi. Z grafu profilu pohybu vidím, že člověk asi 17 sekund běžel a poté asi 17 sekund chodil. Z grafu profilu pohybu jsou patrné oba 2 pohyby – běh i chůze. Podle zjištěného vzorkování 25 vzorků za sekundu jsem z grafu vypočítala, že celkový pohyb trval 37 sekund.



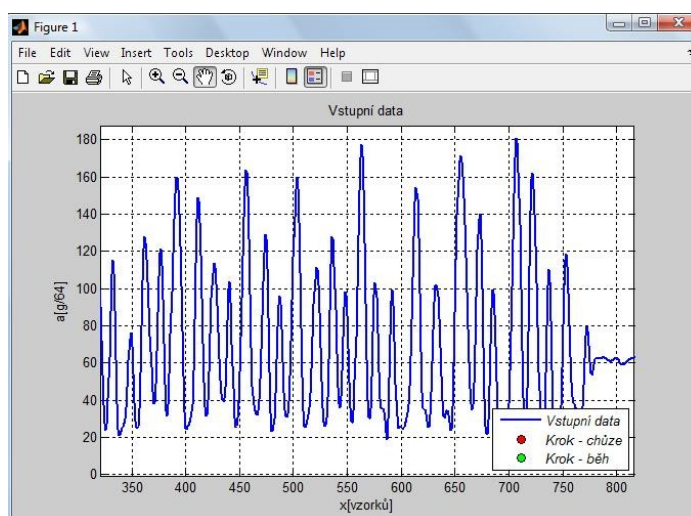
Obr. 27: Graf profilu pohybu.

5.1.3 Úloha 4:

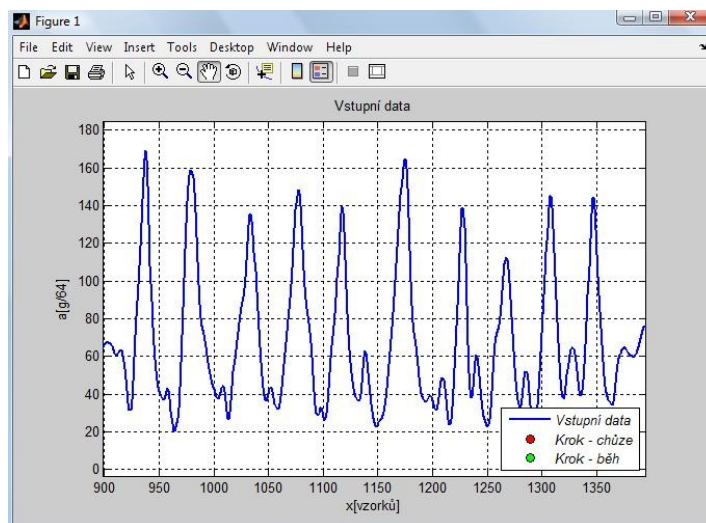
Pomocí přímé úměrnosti jsem vypočítala, že osoba o hmotnosti 60 kg spálí za jednu minutu běhu asi 7 kcal. Výsledek se téměř shodoval s hodnotou vypočtenou softwarem. Nepřesnost byla pravděpodobně způsobena jinou metodou výpočtu (ručně jsem počítala pomocí vydané energie za čas, software počítal pomocí energie vydané na 1 krok).

5.1.4 Úloha 5:

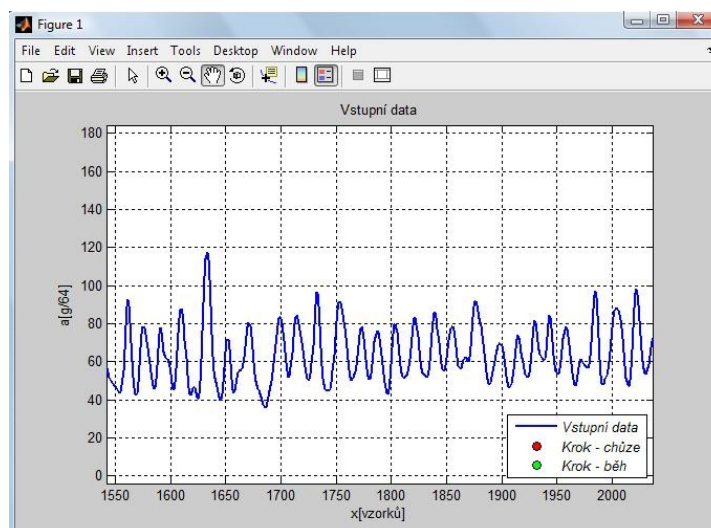
Vizuálně jsem porovnála jednotlivé druhy pohybů. Největší frekvence kroků a zrychlení byla u běhu. Nejmenší frekvence byla zaznamenána u dřepů, které ale měly zrychlení porovnatelné s během. U chůze jsem zpozorovala mnohem menší zrychlení a frekvenci než u běhu.



Obr. 28: Běh.



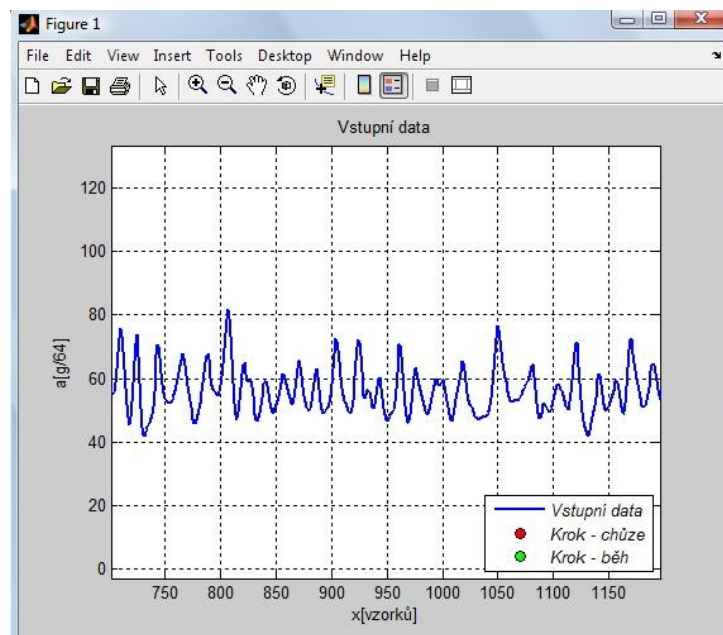
Obr. 29: Dřepy.



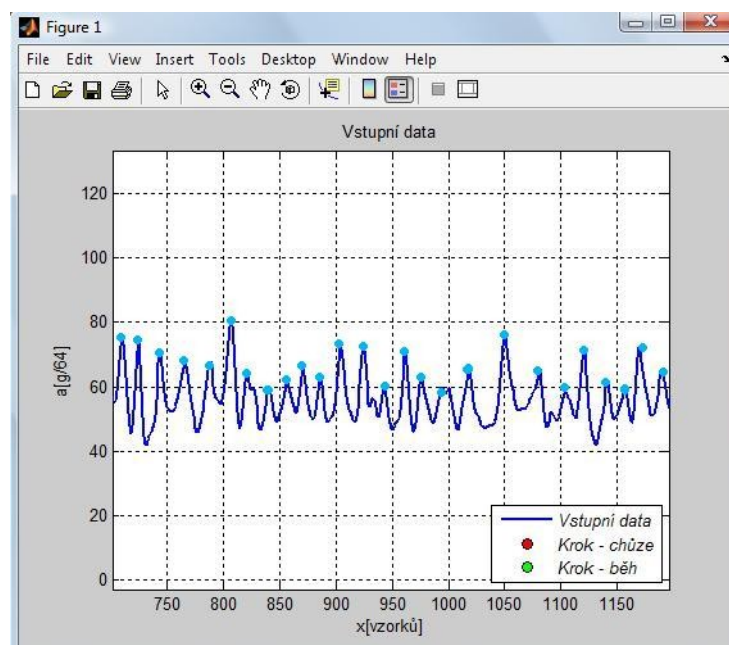
Obr. 30: Chůze.

5.1.5 Úloha 6:

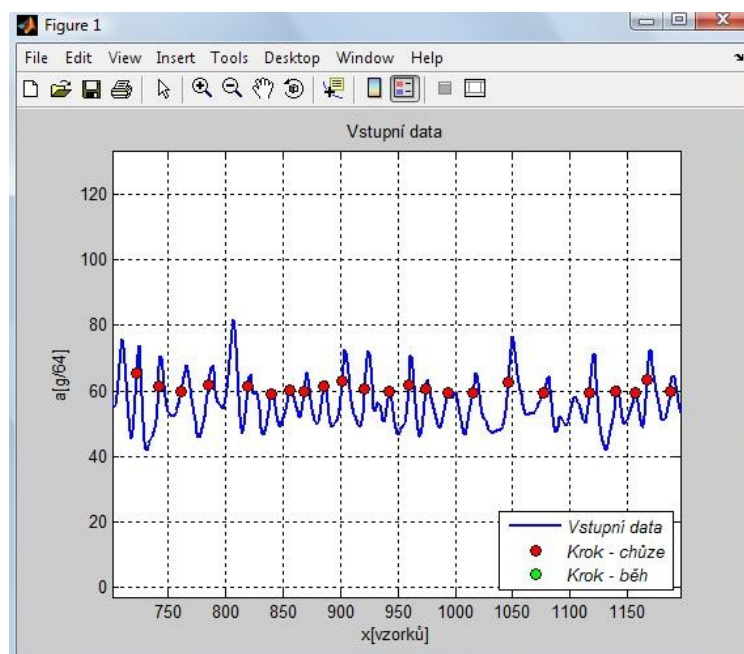
Po provedení úlohy 6, jsem zjistila, že software zaznamenává kroky spolehlivě a zcela stejně jako člověk. Software nezaznamenává kroky pouze ve vrcholech křivky, což je způsobeno použitým algoritmem, není to ale na závadu.



Obr. 31: Data bez vyznačení detekovaných kroků.



Obr. 32: Data s ručně vyznačenými kroky.



Obr. 33: Data se softwarem vyznačenými kroky.

5.2 Kontrolní otázky

1. Popište princip kapacitního akcelerometru.

Kapacitní akcelerometr využívá změny elektrické kapacity, při pohybu seismické hmoty dochází ke změně vzdálenosti elektrod (jeden pár se k sobě přibližuje, druhý se vzdaluje), a tím i ke změně kapacity.

2. Při pohledu na zrychlení porovnejte, zda je ke kloubům šetrnější chůze či běh.

Ke kloubům je šetrnější chůze kvůli menšímu zrychlení, a tím pádem i menším nárazům na klouby.

3. Kolikrát víc energie vydá člověk o hmotnosti 100 kg v porovnání s člověkem o hmotnosti 50 kg?

Podle výše zmíněného výpočtu člověk o hmotnosti 100 kg vydá zhruba 2 krát více energie než člověk s poloviční hmotností.

6 Testování

Během vývoje byl software testován na akcelerometrických datech získaných měřeními několika osob. Testovací osoby vykonávaly různé pohyby a jejich kombinace. Tímto testováním se podařilo eliminovat veškeré vady software a nyní již program pracuje bez chyb.

7 Závěr

Celá tato bakalářská práce již od samého počátku směřovala k zjištění počtu kroků z akcelerometrických dat, což se nakonec podařilo úspěšně zrealizovat. Vedlejší úkoly, jako je navrhnutí a vytvoření výpočtu vydané energie, grafu vstupních dat, grafu profilu pohybu, doby trvání pohybu a dalších se také podařilo splnit. Na závěr byla vytvořena laboratorní úloha pro studenty bakalářských studijních programů na FEI VŠB v Ostravě.

Základní podmínkou bylo důkladné nastudování teoretických východisek dané problematiky. Teoretická část této bakalářské práce byla koncipována tak, aby čtenáři, ale i autorovi pomohla s proniknutím do této složité problematiky, nezbytným pro další postup. Jelikož se jedná o problematiku dynamicky se vyvíjející (například MEMS akcelerometry) a v porovnání s ostatními částečně i okrajovou, většinu informací jsem musela načerpat z internetových zdrojů, které byly z větší části v anglickém jazyce, díky čemuž jsem se dozvěděla velké množství zajímavých informací a zjistila, že kdo se chce v této oblasti pohybovat, musí být velmi dobře jazykově vybaven.

Samotné jádro bakalářské práce, tedy zjištění počtu kroků z akcelerometrických dat, bylo časově asi nejnáročnější částí, zejména kvůli nutnosti neustálého testování, měnění a vylepšování vlastního algoritmu. Díky tomu již software pracuje spolehlivě, což bylo úspěšně otestováno na velkém množství dat. Kalibrace softwaru na uživatele byla navržena a vytvořena jako poloautomatická, kdy si uživatel musí pamatovat počet kroků při chůzi a při běhu, které vykonal. Vlastní detekce počtu kroků je již zcela automatická, uživatel může do programu po kalibraci nahrát jakákoli svá data a software mu je správně vyhodnotí. Toto považuji za největší devizu programu, protože na rozdíl od běžných akcelerometrů, které jsou nastaveny na předem danou hodnotu zrychlení pro započtení kroku, je tento software schopen důkladně se přizpůsobit každému jednotlivému uživateli, a tak získat přesnější výsledky. Za zmínku stojí také schopnost software odlišit chůzi a běh, nevím o žádném běžně prodejném krokoměru, který by toto dokázal.

Další části práce, jako je například graf vstupních dat s vyznačenými kroky, mohou sloužit jako pomůcka pro okamžitou a kvalitní zpětnou vazbu k vývoji software. V programu jsou také zakomponovány funkce jako výpočet Body Mass Indexu, výpis doby trvání pohybu či výpočet vydané energie, díky kterým může být program používán i jako osobní trenér.

Svůj přínos vidím v unikátním algoritmu pro kalibraci a měření, schopném počítat kroky a odlišit běh a chůzi. Snažila jsem se také, aby používání programu bylo co nejjednodušší, proto je vytvořené grafické uživatelské rozhraní rozdělené do 3 bloků a obsahuje také vyskakovací nápovědy. Díky přiloženému video tutoriálu by měli být uživatelé schopni pracovat s programem, bez nutnosti studovat manuál.

Další možnost rozvoje programu vidím ve 2 směrech: 1) Pro použití programu jako laboratorní pomůcky by bylo vhodné rozšířit jej o další nástroje pro analýzu akcelerometrických dat, bylo by také vhodné uvažovat o nahrazení bezdrátového přenosu ZigBee běžným kabelovým

spojením, odpadla by tak nutnost výměny baterií, software by mohl monitorovat pohyb (třeba i vibrace strojů) neomezeně dlouhou dobu a nehrozil by výpadek spojení.

2) Pro použití programu jako osobního trenéra by bylo ideální propojit algoritmus s daty GPS a přizpůsobit program pro mobilní telefony.

Při realizaci této práce jsem se naučila plánovat a uskutečňovat rozsáhlé softwarové projekty, používat mnoho funkcí programu Matlab a také jsem načerpala spoustu teoretických znalostí.

8 Seznam použité literatury

- [1] Zrychlení. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 5.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <cs.wikipedia.org/wiki/Zrychlen%C3%AD>.
- [2] Acceleration. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 4.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Acceleration>>.
- [3] *Concise Encyclopedia of Science & Technology*. Fifth Edition. [s.l.] : McGraw-Hill Professional, 2004. 2651 s. ISBN 00-7142-957-3, ISBN 978-00-7142-957-3.
- [4] Texas Instruments. *Usfirst* [online]. 2005 [cit. 15.1.2011]. Accelerometers and How they Work. Dostupné z WWW: <<http://www2.usfirst.org/2005comp/Manuals/Acceler1.pdf>>.
- [5] HUSÁK, Miroslav. *KATEDRA MIKROELEKTRONIKY Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze* [online]. [cit. 15.1.2011]. Akcelerometry. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>>.
- [6] David Purley. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 26.12.2010 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/David_Purley>.
- [7] *Wiki.kn.vutbr.cz* [online]. datum revize 26.2.2009 [cit. 15.1.2011]. Akcelerometr. Dostupné z WWW: <<http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?akcelerometr>>.
- [8] Accelerometer. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 12.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>>.
- [9] Equivalence principle. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 12.1.2011 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalence_principle>.
- [10] Piezoelektrick%C3%BD jev. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 31.10.2010 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrick%C3%BD_jev>.
- [11] KHAZAN, Alexander D. *National Instruments* [online]. 2006 [cit. 2011-01-15]. Hall

Effect Accelerometer. Dostupné z WWW:
<<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/106>>. ISBN 0-13-929480-5.

- [12] Hall%*C5*%AF_v jev. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 6.2.2010 [cit. 15.1.2010]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hall%C5%AFv_jev>.
- [13] Magnetoresistance. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, datum revize 9.9.2010 [cit. 15.1.2011]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetoresistance>>.
- [14] NAVRÁTIL, L. – ROSINA, J., et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- [15] Activity diagram. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 29 November 2005, last modified on 27 April 2011 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Activity_diagram>.
- [16] Use case diagram. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24 March 2006 , last modified on 3 May 2011 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Use_case_diagram>.

9 Seznam příloh

Příloha 1 - Zadání laboratorní úlohy.....	I
Příloha 2 – Fotografie.....	VI
Příloha 3 - Tabulka zjištění průměrné délky kroku.....	VII
Příloha 4 - M-File Matlabu - algoritmus kalibrace.....	IX
Příloha 5 - CD	

